

⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 44 42 171 A 1

⑤ Int. Cl.⁶:
G 05 B 9/02
G 05 B 23/02
E 05 F 15/20
E 06 B 9/82
H 02 P 7/00
F 16 P 3/14

②① Aktenzeichen: P 44 42 171.0
②② Anmeldetag: 26. 11. 94
②③ Offenlegungstag: 13. 6. 96

⑦① Anmelder:
TEMIC TELEFUNKEN microelectronic GmbH, 74072
Heilbronn, DE

⑦② Erfinder:
Driendl, Dieter, Dipl.-Ing. (FH), 88693
Deggenhausertal, DE; Joos, Ulrich, Dipl.-Ing. (FH),
88149 Nonnenhorn, DE; Schuler, Wolfgang,
Dipl.-Ing., 88709 Meersburg, DE; Fischer, Manfred,
Dipl.-Ing. (FH), 88094 Oberteuringen, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:

DE 35 32 078 C2
DE 35 14 223 C2
DE 33 46 366 C2
DE 33 35 407 C3
DE 33 03 590 C2

DE 31 36 746 C2
DE 30 34 118 C2
DE 29 26 938 C2
DE 44 10 506 A1
DE 42 34 501 A1
DE 42 14 998 A1
DE 41 27 047 A1
DE 40 00 730 A1
DE 35 39 265 A1
DE 92 17 563 U1
DE 91 00 504 U1
DE 90 11 262 U1
EP 04 79 045 A2

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren zur Überwachung des Öffnungs- und Schließvorgangs bei einem System mit mindestens einem elektromotorisch bewegten Teil

⑤⑦ Beschrieben wird ein Verfahren zur Überwachung des Öffnungs- und Schließvorgangs bei einem System mit mindestens einem elektromotorisch bewegten Teil. Hierbei sind folgende Verfahrensschritte vorgesehen:

- während der Bewegung der Teile werden alle Betriebsparameter des Motors kontinuierlich zu zeitlich äquidistanten Meßzeitpunkten erfaßt,
- unter Zuhilfenahme der erfaßten Betriebsparameter des Motors wird die sich bei der Bewegung ergebende Energiebilanz gebildet,
- die aufgrund der Bewegung resultierende Gesamtkraft wird aus der Energiebilanz und den konstruktiven Parametern von Motor und Getriebe ermittelt,
- die Klemmkraft wird aus der Gesamtkraft zu jedem Meßzeitpunkt unter Zuhilfenahme eines Zeitfensters bestimmt, dessen Fensterbreite als Zeitdifferenz zwischen dem jeweiligen Meßzeitpunkt und einem jeweiligen Referenzzeitpunkt so gewählt wird, daß mindestens zu einem Referenzzeitpunkt noch keine Klemmkraft auftritt,
- der zeitliche Verlauf der Klemmkraft wird bewertet und beim Überschreiten vorgegebener Grenzwerte bzw. Schwellwerte ein Einklemmfall detektiert,
- beim Erkennen eines Einklemmfalles werden bestimmte Reaktionen initiiert.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 04. 98 602 024/15

7/30

DE 44 42 171 A 1

DE 44 42 171 A 1

Beschreibung

Mechanische Systeme mit elektromotorisch bewegten Teilen sind vielfältig in Gebrauch — beispielsweise werden in Kraftfahrzeugen mit derartigen Systemen oftmals die Schließfunktionen von Seitenfenstern und Schiebedach realisiert. Insbesondere bei automatisch ablaufenden Schließvorgängen ist jedoch eine Einklemm-
 5 gefahr bezüglich der Einklemmung von Körperteilen oder Gegenständen gegeben; daher sollte aus Sicherheitsgründen ein Einklemmschutz vorhanden sein, wie er bereits für einige Anwendungsfälle per Verordnung vorgeschrieben wird.

Die Überwachung des Öffnungs-/Schließvorgangs zur Gewährleistung eines derartigen Einklemmschutzes kann beispielsweise mittels optischer Detektoren zur Detektion von etwaigen Hindernissen oder durch Bestimmung und Auswertung der beim Einklemmvorgang entstehenden Klemmkraft bzw. des zeitlichen Verlaufs der Klemmkraft erfolgen. Da die direkte Bestimmung der Klemmkraft (beispielsweise mittels Kraftsensoren oder Drehmomentsensoren) wegen der benötigten Sensoren recht kostspielig ist, wird bei den meisten Überwachungsverfahren die Klemmkraft bzw. deren zeitlicher Verlauf indirekt durch Erfassung einer Motorkenngröße
 15 bzw. eines Motorparameters (beispielsweise der Motordrehzahl) als Meßgröße ermittelt, diese durch Vergleich mit einer Referenzmessung bzw. Referenzmessungen ausgewertet und beim Überschreiten bestimmter Grenzwerte/Schwellwerte eine bestimmte Reaktion initiiert (beispielsweise eine Reversierung des Motorantriebs vorgenommen oder der Motorstrom abgeschaltet).

Nachteilig bei diesen Verfahren ist die oftmals unzureichende Überwachung des Öffnungs-/Schließvorgangs und der damit verbundene ungenügende Einklemmschutz, da

- nur ein tendenzieller Zusammenhang zwischen der erfaßten Meßgröße und der daraus abgeleiteten kraftähnlichen Größe gegeben ist, so daß erhebliche Ungenauigkeiten bei der Bestimmung der realen Klemmkraft auftreten,
- 25 — sich Exemplarstreuungen, Alterungseffekte, Umgebungseinflüsse (Temperatur, Feuchtigkeit etc.) auf die Auswertung (Vergleich mit der bei anderen Bedingungen vorgenommenen Referenzmessung) sehr stark auswirken,
- wegen der Ortsorientierung bzw. Ortsabhängigkeit (Messung und Auswertung erfolgen in starrer Abhängigkeit von der Motorposition, d. h. in äquidistanten Schritten bezüglich der Motorumdrehung) die Ansprechzeit beim Auftreten kritischer Einklemmsituationen oft zu groß ist (durch das mit einer Einklemmung verbundene Absinken der Motordrehzahl wird die zeitliche Auflösung verringert).

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1 anzugeben, das einen wirksamen Einklemmschutz unter allen Umgebungsbedingungen bzw. Betriebsbedingungen gewährleistet.

Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung durch die Merkmale im Kennzeichen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen des Verfahrens ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Beim vorgestellten Verfahren wird die Klemmkraft aus dem Betriebszustand des Motors unter Berücksichtigung aller Motorparameter abgeleitet: die erforderliche Schließenergie wird nach dem Energierhaltungssatz aus der dem Motor zugeführten elektrischen Energie bestimmt (diese ist von der Versorgungsspannung, dem Motorstrom und dem Antriebswirkungsgrad abhängig), die auftretenden Kräfte (Klemmkraft und Reibungskraft) aus der Schließenergie unter Berücksichtigung der Motorkenngrößen (Motordrehzahl bzw. Motorperiodendauer und Übersetzungsverhältnis) ermittelt, eine Einklemmsituation durch Auswertung des zeitlichen Verlaufs der Reibungskraft bzw. Klemmkraft detektiert (beispielsweise durch Vergleich mit einem konstanten Schwellwert oder durch Auswertung des zeitlichen Profils) und die Schließenergie beim Überschreiten bzw.
 45 Erreichen vorgegebener Grenzwerte durch Abschalten bzw. Reversieren des Motorantriebs reduziert. Durch eine zeitorientierte Verfahrensweise — Abtastung der Eingangsgrößen zu den Meßzeitpunkten und Auswertung (die Ermittlung der momentan wirkenden Klemmkraft) erfolgen in äquidistanten Zeitschritten mit vorgegebener Schrittweite (beispielsweise folgen die Meßzeitpunkte im Abstand von einer Millisekunde aufeinander) —, kann eine kontinuierliche Klemmkraftbestimmung mit einer sehr hohen zeitlichen Auflösung vorgenommen werden. Zur Bestimmung der Klemmkraft und zur Auswertung des zeitlichen Kraftverlaufs wird ein Zeitfenster mit vorgebbare Fensterbreite herangezogen, die der Zeitdifferenz zwischen dem aktuellen Meßzeitpunkt und einem Referenzzeitpunkt entspricht. Die Fensterbreite wird so gewählt, daß der am langsamsten ablaufende der möglichen Einklemmfälle noch sicher detektiert werden kann; hierzu wird mindestens ein Referenzzeitpunkt auf
 55 einen Zeitpunkt gelegt, an dem noch keine Klemmkraft auftritt und hieraus die Reibungskraft bestimmt. Bei der Auswertung dient das Zeitfenster dazu, einen gewichteten Mittelwert aus den Meßwerten und Motorkenngrößen des aktuellen Meßzeitpunkts und des Referenzzeitpunkts zu bilden. Der Antriebswirkungsgrad wird vorzugsweise während der Schließbewegung kontinuierlich an Versorgungsspannung und Betriebstemperatur angepaßt, und dadurch dessen Abhängigkeit von den äußeren Bedingungen eliminiert.

Das vorgestellte Verfahren vereinigt mehrere Vorteile in sich:

- da die zur Beurteilung einer Einklemmsituation ermittelte Klemmkraft durch Auswertung aller physikalisch relevanten Betriebsparameter des Motors (Wirkungsgrad, Strom, Spannung, Ankerumdrehungszahl bzw. Ankerperiode) und somit in der exakten physikalischen Dimension bestimmt wird, stellt diese ein direktes Abbild der tatsächlich wirkenden Klemmkraft dar; ein Einklemmvorgang kann daher unter allen Betriebsbedingungen sehr sicher und präzise detektiert werden,
- aufgrund der zeitorientierten Verfahrensweise ist eine kontinuierliche Klemmkraftbestimmung mit sehr hoher zeitlicher Auflösung möglich; dies wirkt sich insbesondere bei abrupten Einklemmvorgängen mit

Klemmkörpern hoher Steifigkeit vorteilhaft aus, da hier die Flankensteilheit des Kraftanstiegs sehr große Werte annimmt — somit lassen sich auch sehr rasch verlaufende Einklemmvorgänge sicher detektieren und entsprechende Gegenmaßnahmen ergreifen,

— es besteht keinerlei Abhängigkeit der Einklemmsituation von den äußeren Randbedingungen; eine Einklemmdetektion kann daher auch bei einer Variation der Umgebungsbedingungen, der Versorgungsspannung, der Steifigkeit des Klemmkörpers bzw. des Antriebs, der Reibungsverhältnisse im Antrieb und der Serienstreuung der Antriebscharakteristik sicher erfolgen,

— es sind reproduzierbare Klemmkraftgrenzwerte bzw. Mindestkraftgrenzen mit geringer Streuung auch bei Einklemmkörpern unterschiedlicher Steifigkeit bzw. bei unterschiedlich schwergängigen Getriebe-Mechanik-Anordnungen gegeben.

Das vorgestellte Verfahren soll weiterhin anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert werden.

Gemäß der Figur wird die dem Motor 1 zugeführte elektrische Arbeit W_{el} in Vortriebsarbeit W_V für das translatorisch bewegte Teil 3 und beim Erreichen des Klemmkörpers 4 (im Einklemmfall) zusätzlich in Verformungsarbeit umgesetzt. Unter Berücksichtigung des Gesamtwirkungsgrads η von Motor 1 und Getriebe 2 ergibt sich aus dem Energieerhaltungssatz:

$$W_V = \eta \cdot W_{el} \quad (1).$$

Die dem Motor zugeführte elektrische Arbeit W_{el} ist wie folgt definiert:

$$W_{el} = U \cdot I \cdot t \quad (2),$$

wobei U die Betriebsspannung, I der Motorstrom und t die Zeitdauer ist.

Für die Vortriebsarbeit W_V bzw. im Einklemmfall für die resultierende Verformungsarbeit erhält man unter Vernachlässigung der bewegten Massen:

$$W_V = F_S \cdot s \quad (3),$$

wobei F_S die Gesamtkraft und s der zurückgelegte Weg des bewegten Teils 3 ist.

Im Einklemmfall setzt sich die vom Motorantrieb aufgebrachte Gesamtkraft bzw. Summenkraft F_S aus der Klemmkraft F_K und der Reibkraft F_R zusammen:

$$F_S = F_K + F_R \quad (4).$$

Für die Klemmkraft F_K ergibt sich somit der folgende Zusammenhang:

$$F_K = F_S - F_R = \frac{W_V}{s} - F_R = \eta \cdot \frac{W_{el}}{s} - F_R = \eta \cdot \frac{U \cdot I \cdot t}{s} - F_R \quad (5).$$

Beim gegebenen translatorischen Übersetzungsverhältnis \bar{U} des Antriebs kann aus der Ankerdrehzahl n des Motors bzw. der Ankerperiode T des Motors I und der Zeitdauer t der zurückgelegte Weg s des Teils 3 bestimmt werden:

$$s = \bar{U} \cdot n \cdot t \text{ bzw. } s = \bar{U} \cdot \frac{t}{T} \quad (6).$$

Hiermit ergibt sich aus Gleichung (5) für die Klemmkraft F_K :

$$F_K = \eta \cdot \frac{U}{\bar{U}} \cdot \frac{I}{T} \cdot t - F_R \quad (7)$$

bzw. für die zeitliche Abhängigkeit der Klemmkraft $F_K(t)$:

$$F_K(t) = \eta(U) \frac{U(t) \cdot I(t) \cdot T(t)}{\bar{U}} - F_R(t) \quad (8).$$

Anhand dieser Gleichung wird der zeitliche Verlauf der Klemmkraft $F_K(t)$ bestimmt: Betriebsspannung U , Motorstrom I und Periodendauer T der Ankerumdrehung lassen sich auf meßtechnisch einfache und kostengünstige Art und Weise erfassen, das translatorische Übersetzungsverhältnis \bar{U} ist konstruktiv vorgegeben und ändert sich bei hinreichend stabiler Ausführung des Antriebs nur geringfügig bei Krafteinwirkung. Der Wirkungsgrad η stellt eine motorspezifische bzw. getriebespezifische und von der Versorgungsspannung U abhängi-

ge Größe dar; anhand der Motorkennlinie wird dessen Spannungsabhängigkeit berücksichtigt und durch Erfassung der Temperatur kann dessen Temperaturabhängigkeit eliminiert werden. Die im translatorisch bewegten Teil 3 auftretende und durch Änderungen des Reibungskoeffizienten μ infolge von Temperatur-, Verschmutzungs-, und Alterungseinflüssen extremen Schwankungen unterworfenen und zudem je nach konstruktiver Ausführung der Antriebslagerung und Führung variierende Reibkraft F_R , wird durch mindestens eine Referenzmessung aus dem Betriebszustand des Motors 1 unter der Voraussetzung bestimmt, daß keine Einklemmsituation vorliegt (d. h. diese Referenzmessung muß zu einem Referenzzeitpunkt t_R erfolgen, zu dem die Klemmkraft $F_K = 0$ ist).

In diesem Fall ergibt sich aus der Gleichung (8) für den Referenzzeitpunkt t_R folgender Zusammenhang ($F_K(t_R) = 0$):

$$F_R(t_R) = \eta(U) \cdot \frac{U(t_R) \cdot I(t_R) \cdot T(t_R)}{\bar{U}} \quad (9)$$

Zum Meßzeitpunkt t_M , zu dem eine Einklemmung auftreten kann, ist die relevante Klemmkraft $F_K(t_M)$ somit aus den Gleichungen (8) und (9) durch Differenzbildung bestimmbar:

$$F_K(t_M) = \eta(U) \cdot \frac{U(t_M) \cdot I(t_M) \cdot T(t_M)}{\bar{U}} - \eta(U) \cdot \frac{U(t_R) \cdot I(t_R) \cdot T(t_R)}{\bar{U}} \quad (10).$$

Die Indices M und R beschreiben die Abtastzeitpunkte für den Meßvorgang, wobei der Index M den aktuellen Zeitpunkt und der Index R den Zeitpunkt einer vorangegangenen Referenzabtastung angibt, d. h. $M > R$. Durch die Differenz $t_M - t_R$ wird folglich ein diskretes Zeitfenster als Zeitdifferenz zwischen dem aktuellen Meßzeitpunkt t_M und dem Referenzzeitpunkt t_R definiert, dessen Breite anhand des langsamsten vorkommenden noch zu detektierenden Einklemmfalles gewählt wird; durch Wahl des Parameters R wird sichergestellt, daß mindestens eine Referenzmessung zu einem Zeitpunkt erfolgt, während dem die Klemmkraft $F_K = 0$ ist.

Die infolge eines Einklemmvorgangs resultierende Änderung des Motordrehmoments M_d wirkt sich sofort auf den Motorstrom I aus, während sich die Motordrehzahl n bzw. die Ankerperiode T wegen der hohen Massenträgheit und auch die Versorgungsspannung U vergleichsweise nur langsam ändern. Die Gleichung (10) kann daher folgendermaßen vereinfacht werden:

$$F_K(t_M) = \eta(U) \cdot [I(t_M) - I(t_R)] \cdot \frac{U(t_M) \cdot T(t_M)}{\bar{U}} \quad (11).$$

Die Bestimmung der Klemmkraft F_K erfolgt zeitäquidistant und synchron zur Erfassung der jeweiligen Meßgrößen. Hierbei werden gemäß Gleichung (10) für alle Parameter bzw. Meßgrößen die Werte des Referenzzeitpunkts t_R berücksichtigt; bei der vereinfachten Gleichung (11) wird nur für den Motorstrom I auch der Wert zum Referenzzeitpunkt t_R herangezogen, während für alle anderen Parameter lediglich die aktuellen Werte zum jeweiligen Meßzeitpunkt t_M maßgebend sind. Zur Speicherung der für die Bestimmung der Klemmkraft F_K erforderlichen Meßgrößen bzw. Parameter kann ein gleitender Pufferspeicher mit einer Speichertiefe von der Größenordnung der Differenz $t_M - t_R$ vorgesehen werden.

Um Klemmkörper mit unterschiedlicher Steifigkeit und damit unterschiedlich schnell verlaufende Einklemmvorgänge sicher detektieren zu können, erfolgt eine Abtastung der Meßwerte und deren Auswertung in äquidistanten Zeitschritten von beispielsweise einer Millisekunde, während das Zeitfenster mit einer Breite von 100 ms gewählt wird ($t_M - t_R = 100$ ms). Hiermit sind Einklemmvorgänge der Dauer 100 ms sicher detektierbar, wobei der Schwellwert bzw. Grenzwert zur Detektion einer Einklemmsituation beispielsweise bei 60 N angesetzt wird. Typische Einklemmsituationen zeigen Kraftanstiegsraten von ca. 1 N/ms und Reibungskräfte F_R in der Größenordnung von 50 ... 100 N. In diesem Fall würde 60 ms nach Beginn der Klemmung der Grenzwert erreicht und der Antrieb bei $F_K = 60$ N abgeschaltet bzw. reversiert werden.

Zur Unterdrückung von sporadischen Meßfehlern bzw. von kurzzeitigen Änderungen der Reibungscharakteristik des Antriebes mit großer Amplitude wird zum Grenzwertvergleich ein gewichteter Mittelwert aus mindestens zwei mit Gleichung (10) oder Gleichung (11) bestimmten Klemmkraften F_K herangezogen. Bezüglich Gleichung (11) kann ein gewichteter Kraftmittelwert durch gewichtete Mittelwerte der Stromdifferenzwerte $I(t_M) - I(t_R)$ gebildet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung des Öffnungs- und Schließvorgangs bei einem System mit mindestens einem elektromotorisch bewegten Teil (3), mit den Verfahrensschritten:

- während der Bewegung der Teile (3) werden alle Betriebsparameter des Motors (1) kontinuierlich zu zeitlich äquidistanten Meßzeitpunkten erfaßt,
- unter Zuhilfenahme der erfaßten Betriebsparameter des Motors (1) wird die sich bei der Bewegung

ergebende Energiebilanz gebildet,

— die aufgrund der Bewegung resultierende Gesamtkraft (F_S) wird aus der Energiebilanz und den konstruktiven Parametern von Motor (1) und Getriebe (2) ermittelt,

— die Klemmkraft (F_K) wird aus der Gesamtkraft (F_S) zu jedem Meßzeitpunkt (t_M) unter Zuhilfenahme eines Zeitfensters bestimmt, dessen Fensterbreite als Zeitdifferenz zwischen dem jeweiligen Meßzeitpunkt (t_M) und einem jeweiligen Referenzzeitpunkt (t_R) so gewählt wird, daß mindestens zu einem Referenzzeitpunkt (t_R) noch keine Klemmung ($F_K = 0$) auftritt,

— der zeitliche Verlauf der Klemmkraft (F_K) wird bewertet und beim Überschreiten vorgegebener Grenzwerte bzw. Schwellwerte ein Einklemmfall detektiert,

— beim Erkennen eines Einklemmfalls werden bestimmte Reaktionen initiiert.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Bestimmung der Klemmkraft (F_K) ein gewichteter Mittelwert aus mindestens zwei, zu unterschiedlichen Meßzeitpunkten (t_M) ermittelten Klemmkraften ($F_K(t_M)$) gebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß von den Betriebsparametern des Motors (1) zur Bestimmung der zum Referenzzeitpunkt (t_R) vorliegenden Referenzgröße nur der Wert des Motorstroms ($I(t_R)$) berücksichtigt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bildung des gewichteten Mittelwertes der Klemmkraft (F_K) die gewichteten Mittelwerte mindestens zweier Stromdifferenzwerte ($I(t_M) - I(t_R)$) herangezogen werden.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

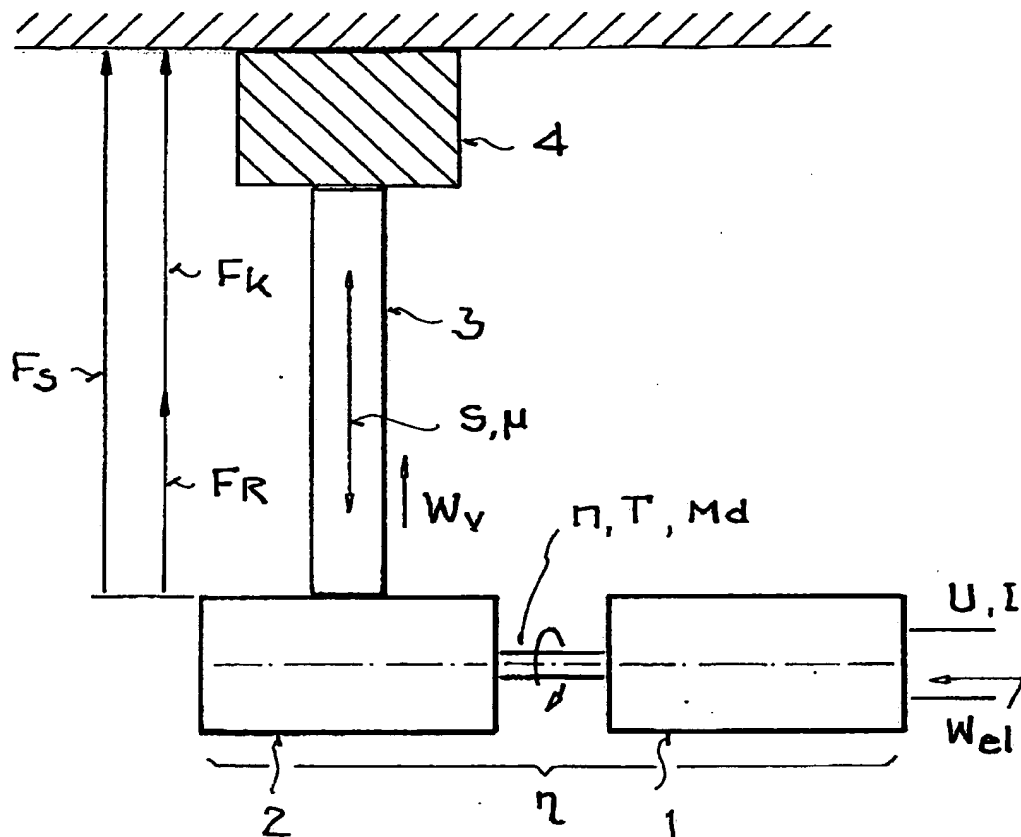


FIG.